Detección e identificación de defectos en granos de arroz empleando visión artificial

Cristian Acosta, Guillermo Sampallo, Arturo González Thomas, Mario Cleva, Diego Liska.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia. French 414. Resistencia, Chaco (3500). Argentina.
clevamario@hotmail.com

Abstract. Se presenta un método para detectar e identificar defectos en granos de arroz pulidos a partir de su imagen digitalizada utilizando un sistema experto. El registro de la imagen de la muestra se realiza con un escáner de escritorio. La muestra empleada se diseñó de tal forma que contenga ejemplares con los defectos más comunes. Se emplearon técnicas de procesamiento digital de imágenes para identificar diferentes tipos de defectos visibles en granos de arroz que afectan a la calidad de la muestra. Finalmente los resultados obtenidos con el empleo de la metodología desarrollada, son coincidentes con los realizados manualmente por un perito. El método propuesto presenta ventajas respecto de la identificación en forma manual como ser la disminución de los tiempos de análisis, la repetibilidad de los resultados, elimina la subjetividad en la identificación, registra y almacena la información, utiliza equipamiento de fácil acceso y bajo costo relativo.

Keywords: Imágenes, calidad, escáner, semillas, cereal

1 Introducción

Es importante en el control de las muestras de arroz considerar la presencia de granos defectuosos de diferentes orígenes y determinar de una manera eficiente, rápida y confiable los porcentajes correspondientes, debido a que estos definen la calidad y valor comercial.

El Código Alimentario Argentino (C.A.A.) [1] en sus Art. 650 y 651 define con precisión las características y porcentajes admisibles de granos de arroz defectuosos en una muestra. En el Art. 650 se establecen que granos serán considerados como defectuosos, mientras que en el Art. 651 se establecen los porcentajes máximos de defectos aceptados según designaciones de calidad.

Usualmente el análisis de los granos lo realiza un perito por inspección visual. Debido a lo tedioso y repetitivo de la tarea, el perito tiene posibilidades de cometer errores de distintos tipos. La forma convencional de medir las longitudes que definen el tamaño del grano (largo y ancho) es utilizando un calibre. La medición se realiza grano por grano sobre una muestra representativa de la cual no quedan registros indi-

vidualizados. Los granos defectuosos son extraídos de una muestra de control en forma manual, se determina su porcentaje y se compara de acuerdo a lo establecido en el Art. 651 del C.A.A.

La determinación automática de la calidad puede realizarse en forma rápida y eficiente empleando un sistema experto que utiliza la información proporcionada por técnicas de visión artificial, sobre la forma, tamaño y aspecto de los granos. El empleo de este sistema evita las subjetividades de un perito.

Los sistemas de visión artificial (SVA) básicamente están constituidos por un dispositivo de adquisición de imágenes, una PC y un software que permite adquirir y procesar la imagen con el fin de obtener información de los objetos existentes en ella.

Los recientes avances en hardware, procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones hacen que la visión artificial sea una técnica muy popular para la inspección automática de productos. El rendimiento de un SVA depende del procedimiento de segmentación de las regiones manchadas de los granos defectuosos. El empleo de un umbral sobre la escala de gris [2] es una técnica de segmentación ampliamente utilizada. Se ha empleado con éxito en la inspección de frutas y semillas para la clasificación de la forma, la detección de defectos, determinación de calidad y clasificación de variedades [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Entre todos los métodos basados en el análisis de imágenes, las técnicas de procesamiento del color desempeñaron un papel importante en las inspecciones de diferentes frutas.

En otros trabajos como [10], [11] y [12] desarrollaron sistemas expertos basados en procesamiento de imágenes para definir la calidad de arroz considerando su morfología y aspecto. Existen librerías como el OpenCV [13] que tienen desarrollados algoritmos para análisis morfológico y de aspecto de objetos en general. Sin embargo su aplicación a granos requiere de modificaciones estructurales importantes como se presentan en [12]. Así mismo en [14] se desarrolla un sistema de clasificación de granos de arroz de una sola variedad utilizando procesamiento digital de imágenes en entorno Windows, con altos índices de acierto comparado con la inspección humana, clasificando alrededor de 1400 granos por minutos. En relación a la clasificación de variedades a partir de parámetros obtenidos por procesamiento digital de imágenes (PDI), [15], [16] y [17] presentan diferentes técnicas metaheurísticas, siendo la de redes neuronales artificiales la de mejor rendimiento en el proceso de clasificación.

En este trabajo, en particular, se analizan los siguientes defectos en los granos de arroz:

- Colorados o con estrías rojizas
- Yesosos
- Panza blanca
- Manchados
- Partidos
- Picados

Se desarrolla una metodología para determinar los descriptores de las características visuales de los defectos mencionados. Estos descriptores y sus rangos sirven de valores de entrada a un sistema experto que evalúa la calidad muestras de granos de arroz pulidos. El sistema presentado es de muy bajo costo, necesitando para su fun-

cionamiento elementos de fácil disponibilidad. Tampoco requiere de operadores con entrenamiento especial. Es veloz y su rendimiento está solo limitado por la velocidad del procesador empleado, pudiendo ser utilizado tanto en computadoras antiguas como en modelos nuevos.

2 Materiales y método.

Todos los conceptos y técnicas que se exponen a continuación fueron materializados en un sistema de información cuyo objetivo principal consiste en analizar una imagen de una muestra de granos de arroz y emitir un reporte de la calidad según lo establecido en el C.A.A.

2.1 Adquisición de imagen.

Para el registro de la muestra de granos de arroz, se emplea un escáner de escritorio por poseer las siguientes ventajas:

- No presenta las aberraciones propias de las lentes
- Produce una iluminación uniforme sobre la muestra.
- La resolución de la imagen se guarda como información dentro del archivo imagen, que permite determinar el factor de escala.
- Posibilita adquirir la imagen con diferentes resoluciones.
- Es económico y no necesita un operador especializado.

No fue necesaria realizar una calibración especial del escáner para el registro de la imagen color de la muestra.

La muestra se distribuye sobre el plano del escáner y se registra su imagen digital color RGB con una resolución de 300 dpi que asegura una precisión adecuada en las determinaciones.

2.2 Técnicas de procesamiento digital de imágenes.

Los resultados de la secuencia de operaciones de procesamiento se presentan en la Figura 1. La imagen inicial (a) se separa en los canales rojo, verde y azul (RGB). Luego con la binarización de la banda azul de la imagen RGB empleando un umbral apropiado, se separan los granos del fondo (b). A continuación se aplica un algoritmo que identifica los pixeles que pertenecen a cada grano (c), y a partir de este resultado se obtiene la imagen del contorno de cada grano (d).

Estas operaciones se realizaron en 8 segundos en una PC con un procesador Intel® Core(TM) i3 CPU M330 @ 2.13GHz y memoria RAM de 3GB.

Con la imagen binarizada, la que identifica cada grano, la de contornos y la original se obtienen los siguientes atributos de cada grano de la muestra: firma (representación gráfica de la distancia al baricentro en función del ángulo entre éste y la horizontal), alto, ancho, área, e histograma por banda color.

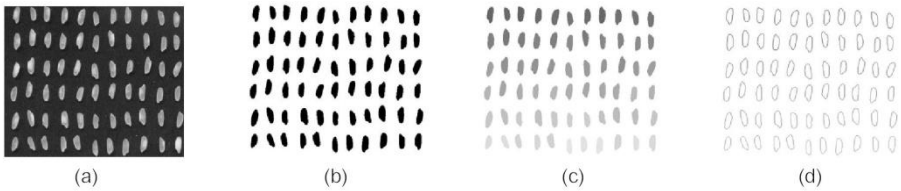


Fig. 1. Imagen (a) original, (b) Binarizada (c) Con granos identificados por niveles de gris (d) De los contornos de los granos

2.3 Conjunto de granos de arroz de prueba.

El conjunto de granos de arroz que se emplea en este trabajo fue obtenido antes del empaquetado para su comercialización y se diseñó de tal forma que contenga ejemplos de todos los defectos mencionados en el C.A.A.

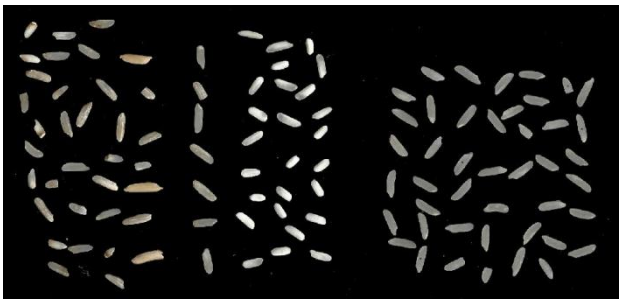


Fig. 2. Imagen del conjunto de granos de prueba

Se procedió a la conformación de un conjunto de granos de arroz que contenga 63 ejemplares normales, 27 partidos, 17 panza blanca, 2 yesosos, 7 manchados o coloreados, 24 rojizos y 4 picados. En la Figura 2 se muestra la imagen preparada.

2.4 Sistema de información.

Si bien se hace foco en las técnicas y conceptos vinculados a la identificación y detección de defectos en los granos de arroz, el sistema de análisis de muestras incluye otros procesos de soporte que están ilustrados en la Figura 3. En conjunto permiten realizar el análisis correspondiente y obtener como resultado un reporte general de toda la muestra y reportes particulares de cada ejemplar.

2.5 Detección e identificación de defectos en granos de arroz

Determinación de los atributos promedios de granos normales.

Para caracterizar a los granos es necesario obtener atributos promedios de los granos normales presentes en la muestra. Un operador selecciona al azar de la imagen de la muestra al menos 20 granos normales y enteros de diferentes regiones de la misma.

Con estos granos, el sistema calcula los atributos promedios que representan las características de referencia de la muestra. El largo L_0 y ancho A_0 promedios sirven para identificar la variedad a la que pertenece la muestra y también permiten clasificar a los granos en enteros, partidos y arrocines.

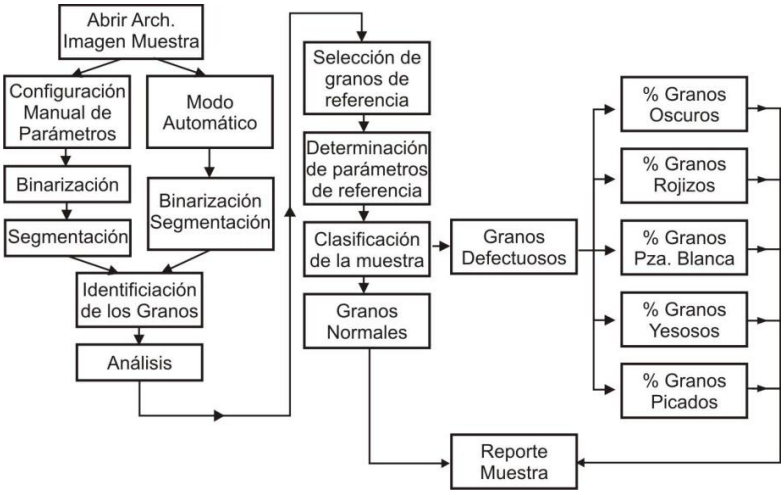


Fig. 3. Sistema de información de análisis de muestras de arroz.

El nivel de intensidad promedio por banda color tiene un papel fundamental en el proceso de clasificación de los granos de acuerdo a su color, en normales o con diferentes tipos de manchas. Con estos atributos promedios se confecciona un rango de aceptación de niveles de intensidad por banda color. El área y la firma promedios permiten descartar objetos extraños que estén presentes en la imagen.

Regla para clasificar los granos según su tamaño.

Para caracterizar el grano según tamaño, se compara su largo L con el largo promedio L_0 (Art. 650 ítem f del C.A.A.). Si el grano tiene un lago L tal que $L \geq 0.75\ L_0$, es entero, sino es partido.

Regla para clasificar granos según su aspecto.

Para la clasificación según el aspecto, se compara el valor medio y el desvío estándar del nivel de intensidad de la banda azul de cada grano con los atributos promedios de referencia correspondientes a dicha banda. El esquema de la clasificación está presentado en Figura 4.

Si el i-ésimo grano tiene en la banda azul una intensidad promedio $\bar{I}_i$ tal que

$\left(\bar{I}_{ref} - 0{,}75\bar{I}_{ref}\right) \leq \bar{I}_i \leq \left(\bar{I}_{ref} + 0{,}75\bar{I}_{ref}\right)$ y $\sigma_i < (0{,}95\sigma_{ref})$ grano es normal, sino es defectuoso.

Los rangos de aceptabilidad se determinaron experimentalmente.

Los granos clasificados como defectuosos son objeto de análisis puntuales para determinar que defectos tienen. El sistema ofrece la posibilidad de rectificar la clasificación si estos análisis determinan que no posee defecto alguno.

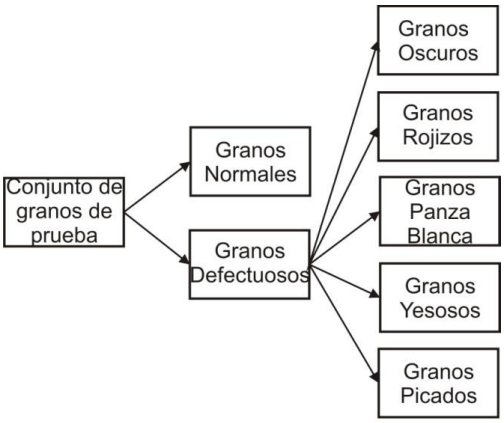


Fig. 4. Clasificación según defectos de aspecto.

Granos defectuosos: Análisis de manchas.

Para los granos clasificados como defectuosos por la regla anterior, se utiliza un procedimiento que actúa sobre toda la imagen y tiene como objetivo calcular las áreas de manchas rojizas y de manchas oscuras.

Determinación de umbrales.

Es necesario en los granos defectuosos determinar los umbrales de intensidad que separen los pixeles manchados de los normales. Experimentalmente se determinaron un umbral para la banda azul (U_b=100) que se utiliza para establecer que el pixel pertenece a una mancha y un umbral para la banda roja (U_r=100) que se utiliza para establecer si el pixel pertenece a una mancha oscura o rojiza.

El proceso de análisis de manchas.

Se aplica solo a los granos de arroz que fueron clasificados como defectuosos. Para cada pixel de estos granos se compara su nivel de intensidad en la banda Azul I_b con U_b.

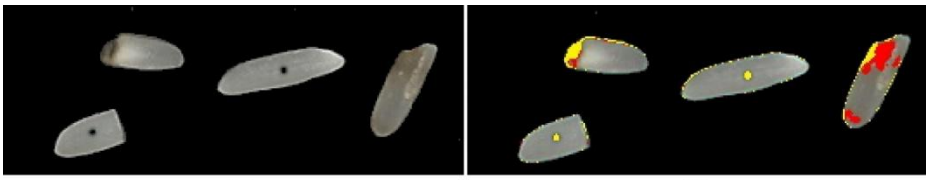
Si la intensidad el i-ésimo pixel $I_{bi} \leq U_b$ entonces es manchado.

El cumplimiento de esta regla clasifica al pixel como manchado sin especificar el tipo de mancha.

Para identificar el tipo de mancha, se compara su nivel de intensidad en la banda Roja I_r con U_r.

Si la intensidad el i-ésimo pixel $I_{ri} \leq U_r$ entonces es oscuro, sino es rojizo.

En la Figura 5 se muestran ejemplos de aplicación de esta regla.



(a) (b)

Fig. 5. Imagen (a) Original. (b) Con las áreas rojizas resaltadas en color rojo y las áreas oscuras en color amarillo.

De esta manera cada pixel manchado de los granos defectuosos, queda clasificado como pixel rojizo u oscuro. Se determinan entonces las áreas rojizas y oscuras por conteo de estos píxeles y en consecuencia cada grano clasificado previamente como defectuoso adquiere dos nuevos atributos: con área oscura y con área rojiza. En la Figura 5 se resaltan las áreas rojizas con color rojo y las áreas oscuras con color amarillo. En la Figura 6 está el diagrama de flujo correspondiente.

Granos colorados o con estrías rojizas.

Se clasifica como granos colorados o con estrías rojizas, Según el Art. 650 ítem a) del C.A.A., aplicando la regla:

Si el área rojiza > 0,5 mm^2 el grano es colorado o con estrías rojizas. El valor 0,5 mm^2 es un umbral obtenido empíricamente.

En la Figura 7 se muestras granos defectuosos colorados y/o con estrías rojas.

Granos manchados.

Se clasifica como granos manchados, según el Art. 650 ítem d) del C.A.A. aplicando la regla:

Si el área oscura > 0.5 mm^2 el grano es manchado o coloreado. El valor 0.5 es un umbral obtenido empíricamente.

Granos picados.

Se clasifica como posible grano picado, según el art 650 ítem g) del C.A.A. aquel que presenta una mancha oscura con un área < 0.5 mm^2 y además la mancha tiene forma aproximadamente circular.

Identificación de manchas.

Este proceso consiste en otorgarle a cada mancha del grano un identificador que permita posteriormente realizar análisis de forma y tamaño. Para esto se utiliza una matriz binaria auxiliar donde los píxeles pertenecientes a manchas oscuras están representados con valor 1(uno) y todo el resto de la imagen con valor 0(cero).

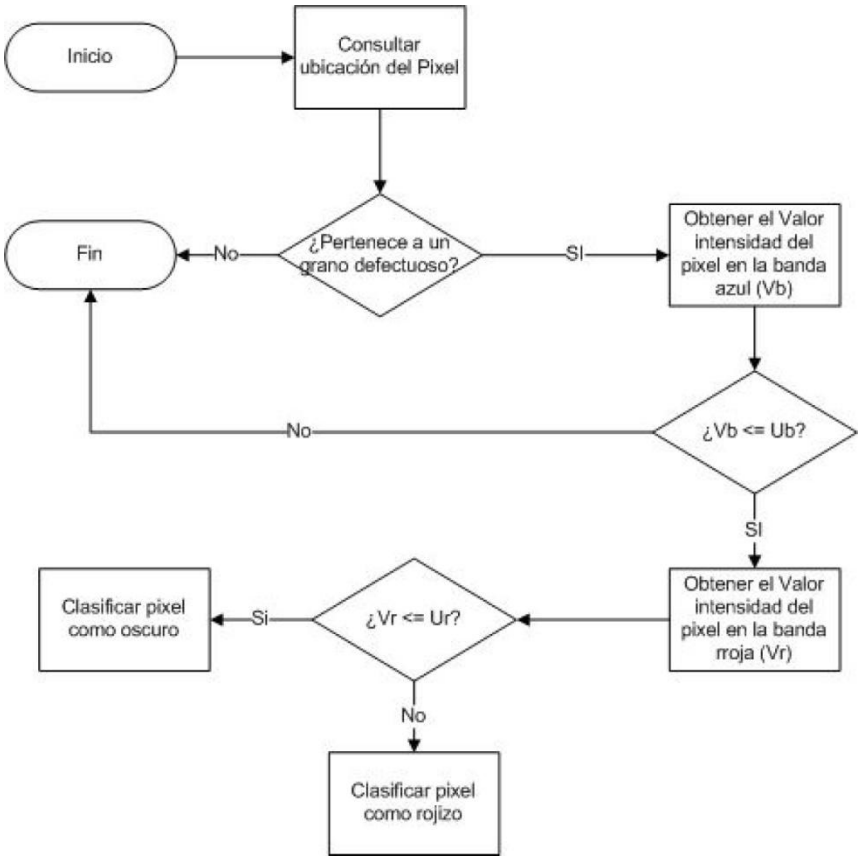


Fig. 6. Diagrama de flujo sobre clasificación de pixeles rojizo u oscuros.

Fig. 7. Granos defectuosos colorados o con estrías rojas.

Para identificar cada mancha se realiza un recorrido completo de la matriz binaria auxiliar y cuando se detecta un píxel con valor 1(uno), se dispara un algoritmo de derramado que le otorga el mismo identificador a todos los pixeles con valor 1(uno) que formen parte de la mancha identificada, este proceso se ilustra en la Figura 8 donde se representa con un color al identificador de cada mancha.

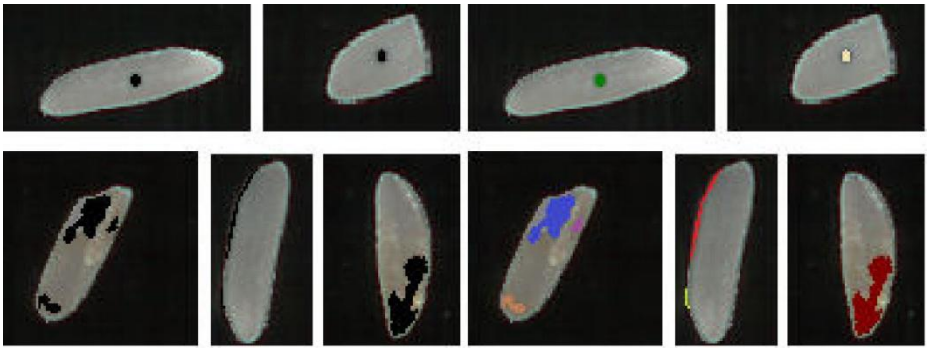


Fig. 8. Representación visual de la identificación de cada mancha oscura.

Análisis de circularidad.

Para clasificar como picado al grano que tenga manchas oscuras, debe cumplirse que el índice de circularidad sea próximo a 1(uno) y cumpla con la restricción de tamaño anteriormente mencionada.

El índice de circularidad se define como:

$$IC = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde A es el área de la mancha y P su perímetro.

Determinación del área: El área de cada mancha en mm² se determina por el número de pixel que comparten un identificador por un factor de escala asociado a la resolución de la imagen.

Determinación del Perímetro: El algoritmo que calcula el perímetro de la mancha, se posiciona en un pixel del contorno y lo recorre asignando $\sqrt{2}$ si es un vecino diagonal en caso contrario adiciona 1 a un contador. El proceso se repite hasta que regresa al píxel inicial, finalizando el proceso. El valor del contador se ajusta mediante el factor de escala obteniéndose el perímetro en mm. En la Figura 9 se muestran los contornos de las manchas.

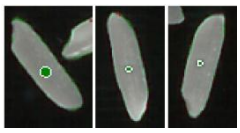
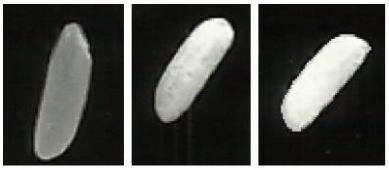


Fig. 9. Representación visual del contorno de las manchas.

Granos yesosos y panza blanca.



(a) (b) (c)

Fig. 10. Grano (a) Normal, (b) Panza blanca, (c) Yesoso.

Como ejemplo de cómo se diferencian los granos normales, panza blanca y yesosos (Según el Art. 650 ítem b) y c) del C.A.A.) se presenta una imagen (Figura 10), donde se exhiben ejemplares de cada tipo. El análisis se hace sobre el nivel de gris de cada píxel perteneciente al grano.

Con todos los valores de los niveles de gris de los pixeles del grano se construye un histograma donde claramente se observa en la Figura 11 cómo se distribuyen los niveles de gris. Los granos normales tienen un aspecto bastante homogéneo presentando un histograma aproximadamente simétrico (histograma grano 1). Los granos panza blanca presentan dos zonas bien diferenciadas y esto conduce a que sus histogramas tengan una distribución no simétrica y en ocasiones dos picos (histograma grano 2). Los granos yesosos tienen una apariencia blanca entonces sus niveles de gris están fuertemente desplazados hacia el blanco como se observa en el histograma del grano 3. Experimentalmente se determinó como umbral de intensidad de separación entre los pixeles normales y los yesosos el valor I = 180 y se eligió la banda azul ya que en comparación con las demás bandas ofrece mayores posibilidades de segmentación de los pixeles.

Con este umbral se determina el área de la región yesosa del grano y se calcula el porcentaje de área yesosa (P% área) correspondiente, respecto del área total del grano. Las reglas que aplican este criterio son:

- Si P% área yesosa > 90% el grano es yesoso
- Si 50% ≤ P% área yesosa ≤ 90% es Panza blanca.
- Si P% área yesosa < 50% es Normal

3 Resultados

El sistema permite cargar la imagen para analizar, definir parámetros de configuración, obtener parámetros promedios a partir de 20 granos normales, realizar el análisis y generar un reporte de la muestra y de cada grano.

En la Tabla 1 se exhiben los resultados obtenidos de la evaluación de la muestra en forma manual y por PDI, claramente coinciden.

El reporte de la muestra resume los análisis efectuados a una muestra de arroz según los criterios de clasificación de defectos del C.A.A. y clasifica a la muestra

analizada según los defectos encontrados en calidad 00000, calidad 0000, 2º calidad o no comercial.

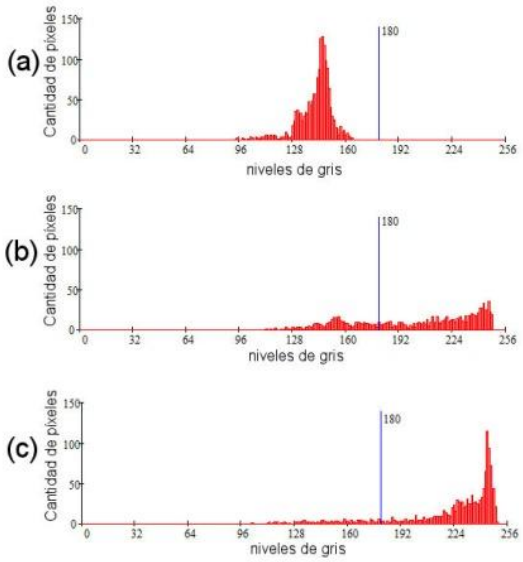


Fig. 11. Histograma de los niveles de gris de cada grano (a) normal, (b) panza blanca, (c) yesoso. En azul el umbral.

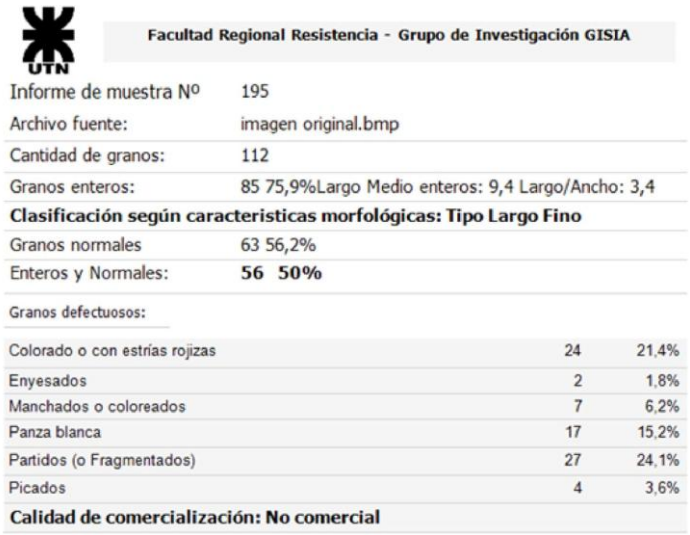
Tabla 1. Resultados finales del análisis de calidad.

Clasificación		Evaluación Manual	Evaluación PDI	Porcentajes (%)
Según aspecto	Normales	63	63	56,25
	Rojizos	24	24	21,43
	Manchados oscuros	7	7	6,25
	Picados	4	4	3,57
	Yesosos	2	2	1,79
	Panza blanca	17	17	15,18
Según Tamaño	Enteros	85	85	75,89
	Partidos	27	27	24,11
Cantidad Total de granos		112		

En la Figura 12, se presenta el informe con resultados globales como el número de muestra; el nombre del archivo fuente y la cantidad total de granos. También expone el resultado del análisis morfológico: la cantidad de granos enteros, el largo medio, la relación largo/ancho media, la variedad de arroz a la que pertenece y dentro de los defectos de forma la cantidad de granos partidos encontrados. Además, presenta los resultados del análisis de aspecto: la cantidad de granos normales y defectos como las cantidades de granos rojizos, manchados, panza blanca, yesosos y picados.

3.1 Análisis individual de granos de arroz:

En la tabla 2 se exhiben los resultados individuales de cada grano de arroz registrados en la base de datos del sistema. Es un reporte detallado que permite realizar análisis particulares de ejemplares pertenecientes al conjunto de granos de arroz de prueba.



UTN	Facultad Regional Resistencia - Grupo de Investigación GISIA		
Informe de muestra Nº	195		
Archivo fuente:	imagen original.bmp		
Cantidad de granos:	112		
Granos enteros:	85 75,9%Largo Medio enteros: 9,4 Largo/Ancho: 3,4		
Clasificación según caracteristicas morfológicas: Tipo Largo Fino			
Granos normales	63 56,2%		
Enteros y Normales:	**56 50%**		
Granos defectuosos:			
Colorado o con estrías rojizas		24	21,4%
Enyesados		2	1,8%
Manchados o coloreados		7	6,2%
Panza blanca		17	15,2%
Partidos (o Fragmentados)		27	24,1%
Picados		4	3,6%
Calidad de comercialización: No comercial			

Fig. 12. Reportes emitidos por el sistema de información. A la izquierda, reporte de la muestra y a la derecha reporte de un grano de arroz.

Tabla 2. Se exhiben los resultados individuales de cada grano de arroz.

	Clasificación según aspecto						Clasificación según Tamaño	
Grano	Normal	Rojizo	Manchado	Picado	Yesoso	Panza blanca	Entero	Partido
1	*						*	
2	*						*	
3	*						*	
.								
.								
.								
109	*						*	
110		*						*
111		*						*
112		*						*
	63	**24**	**7**	**4**	**2**	**17**	**85**	**27**

4 Conclusiones

En este trabajo, se desarrolló una metodología que identifica en una muestra de granos de arroz los granos que son defectuosos empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Determina los descriptores de los siguientes defectos visuales en los granos de arroz: colorados o con estrías rojizas, yesosos, panza blanca, manchados, partidos y picados. Estos descriptores sirven de insumo a un sistema experto que evalúa la calidad de muestras de granos de arroz pulidos según los estándares establecidos en el C.A.A..

Esta metodología tiene como ventajas:

- Elimina la subjetividad que se produce al realizar la evaluación de calidad en forma manual.
- Garantiza la repetitividad de los resultados al evaluar la misma muestra.
- El sistema permite documentar las actividades realizadas en cada muestra y acceder a ellas posteriormente.
- El tiempo necesario para el análisis de una muestra se reduce significativamente.
- El equipamiento necesario para implementar el sistema es muy accesible.

Los resultados obtenidos con la muestra de prueba en la clasificación de los ejemplares con respecto a las evaluaciones hechas en forma manual por un perito no presentan diferencias.

Como restricciones o limitaciones del modelo se puede citar que es muy dependiente de valores empíricos, con lo cual para aumentar la robustez del modelo es fundamental expandir el universo de ejemplares que se utiliza para obtener los valores empíricos o establecer técnicas de inteligencia artificial que garanticen el aprendizaje continuo y ajusten permanentemente dichos valores empíricos

El sistema puede ser implementado en dispositivos móviles. La metodología propuesta es aplicable a granos de otras especies, por lo cual este trabajo permitirá desarrollar aplicaciones para determinar la calidad de los mismos.

5 Referencias.

1. http://64.76.123.202/SAGPYA/economias_regionales/_arroz/_publicaciones/CODIGO_ALIMENTARIO_ARGENTINO_Arroz.pdf. Consulta 17/07/2015
2. GONZALEZ, R. Y WOODS R. (2008) Digital image processing de Imágenes. Pearson Prentice Hall. 3era edición. New Jersey.USA.
3. BROSNAN T., SUN D. -W. 2004. Improving quality inspection of food products by computer vision - A review. Journal of Food Engineering (61), 3-16.
4. NICOLAÏ B.M., BEULLENS K., BOBELYN E., PEIRS A., SAEYS W, THERON K.I., LAMMERTYN J. 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. Postharvest Biology and Technology 46 (2), 99-118
5. RIQUELME M. T., BARREIRO P., RUIZ-ALTISENT M. VALERO C. 2008. Olive classification according to external damage using image analysis. Journal of Food Engineering 87 (3), 371-379.

6. ELMASRY G., WANG N., VIGNEAULT C., QIAO J., ELSAYED A. 2008. Early detection of apple bruises on different background colors using hyperspectral imaging, LWT - Food Science and Technology 41 (2), 337-345.
7. MENDOZA, F., AGUILERA, J.M. 2004. Application of Image Analysis for Classification of Ripening Bananas. Journal of Food Science 69 (9), 471–477.
8. LEIVA-VALENZUELA G. A., LU R., AGUILERA J. M., (2013). Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging, Journal of Food Engineering, Volume 115 (1), 91-98,
9. PAULUS I., SCHREVENS E. 1999. Shape Characterization of New Apple Cultivars by Fourier Expansion of Digitized Images, Journal of Agricultural Engineering Research 72 (2), 113-118.
10. HAIDAR,A. HAIWEI,D. MAVRIDIS,N. 2012. Image-based date fruit classification. En 4th International Congress on Ultra-Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 357–363.
11. ARIVAZHAGAN S., NEWLIN SHEBIAH R., ANANTHI S., VISHNU VARTHINI S. 2013. Detection of unhealthy region of plant leaves and classification of plant leaf diseases using texture features. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 15 (1), 211-217.
12. SAMPALLO G., ACOSTA C., GONZÁLEZ THOMAS A., CLEVA M. 2013. Sistema experto para clasificación de granos de arroz pulidos. Congreso Argentino de Agroinformática, CAI 2013 42 JAIIO. 172-186.
13. http://opencv.org. Consulta 14/06/2017
14. WAN Y., LIN C., CHIOU J. 2002. Rice quality classification using an automatic grain quality inspection system. Transactions of the ASAE Vol. 45(2), 379-387.
15. GUZMAN J., PERALTA E. 2008. Classification of Philippine Rice Grains Using Machine Vision and Artificial Neural Networks. World Conference On Agricultural Information And IT.
16. ZAREIFOROUSH H., MINAEI S, ALIZADEH M., BANAKAR A. 2015. Qualitative classification of milled rice grains using computer vision and metaheuristic techniques, Journal of Food Science and Technology. 1-14.
17. REXCE J, USHA KINGSLY DEVI K. 2017. Classification of Milled Rice Using Image Processing. International Journal of Scientific & Engineering Research. (8) 2, 10-14.